

特集 衛星搭載ライダー

衛星搭載高スペクトル分解ライダーによる エアロゾル・雲の全球観測

西澤 智明¹, 神 慶孝¹, 石井 昌憲², 岡本 創³

¹国立環境研究所(〒305-0053 茨城県つくば市小野川 16-2) ²東京都立大学(〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1) ³九州大学応用力学研究所(〒816-8580 福岡県春日市春日公園 6-1)

Global observation of aerosols and clouds by space-borne high spectral resolution lidar

Tomoaki NISHIZAWA¹, Yoshitaka JIN¹, Shoken ISHII², Hajime OKAMOTO³

¹National Institute for Environmental Studies, 16–2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki-ken, 305–0053
²Tokyo Metropolitan University, 1–1 Minamioosawa, Hachioji, Tokyo, 192–0397
³Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, 6–1 Kasugakoen, Kasuga, Fukuoka-ken, 816–8580

(Received August 23, 2020)

We have proposed a synergy space-borne observation mission using lidar and 94 GHz Doppler cloud radar. The main purposes of this earth observation mission are to understand the interaction processes on aerosols, clouds, convection, radiation, and precipitation comprehensively; to improve cloud reproducibility and cloud-precipitation processes in climate change prediction model; and to contribute to reducing uncertainty in climate change prediction. Expexted products include: (1) microphysics of clouds, aerosols and precipitations, (2) fall velocity of clouds, rain and snow particles, and (3) air motion in cloud, above clouds and in clear sky condition. To achive the purposes, development of a high spectral resolution lidar (HSRL) with doppler, multi-filed-of-view, and depolarization measurement functions is underway. In this article, we report the outline of this proposed mission and the current status of development studies on the space-borne HSRL. In addition, space lidar missions related to aerosol and cloud measurements studied at home and abroad are reported.

キーワード:高スペクトル分解ライダー,エアロゾル,雲,偏光,ドップラー計測 **Key Words**: High spectral resolution lidar, Aerosol, Cloud, Depolarization, Doppler measurement

1. はじめに

大気粒子の気候影響指標である放射強制力の見積 もりには今なお100%程度の不確実性があり、気候 モデルの高度化に資する全球規模での観測情報の強 化・拡充が必要とされている¹⁾.2018年1月に全米 アカデミーズより発行されたDecadal Survey 2017 (DS2017)²⁾において最重要観測対象として「エア ロゾル・雲放射特性」、「エアロゾル鉛直分布」「雲、 対流、降水」が挙げられ、これらを一纏めにし、そ れらを包括的に観測する衛星ミッション ACCP (Aerosol, Cloud, Convection, and Precipitation) が立ち 上げられた. ACCP ミッションの検討において, 放 射強制力の不確実性の低減や気候モデルの雲・エア ロゾル・放射・対流・降水プロセスの改善等に重要 となる具体的なパラメータがまとめられ, 例えば, エアロゾルに関しては消散係数と共に有効半径や化 学種の高度分布, 雲に関しては雲水量, 有効半径, 雲相の高度分布といった詳細な微物理特性が列挙さ れている^{†1}. これらのパラメタを包括的に計測・抽 出可能な衛星観測ミッションの策定の中で, ライ ダーは重要なセンサーの一つとして挙げられてい



衛星搭載高スペクトル分解ライダーによるエアロゾル・雲の全球観測(西澤 智明)

る.また,エアロゾルの大気環境への影響評価やプロセス理解そして環境予測の向上のための「エアロ ゾル鉛直分布」計測もDS2017では掲げられ,その 観点からもライダーは有力なセンサーとして位置付けられている.

エアロゾル・雲(大気粒子)の計測を主目的とし たスペースライダーは、1994年に打ち上げられた スペースシャトル搭載の3波長ミー散乱ライダー LITE に始まり,現在も運用中の 2006 年に打ち上げ られた CALIPSO 衛星搭載の2波長偏光ライダー CALIOP, 2015年に打ち上げられた国際宇宙ステー ション搭載の波長 532 nm の高スペクトル分解ライ ダー(HSRL) 計測機能を有した CATS, そして 2022 年打ち上げ予定の EarthCARE 衛星搭載の波長 355 nmの HSRL である ATLID へと脈々と続いてい る.一方、ATLID 以降における大気粒子の計測を 主目的としたスペースライダーミッションとして 「確定されたもの」は国内・国外ともになく、大気 粒子計測スペースライダーの将来計画の立案が世界 的にも喫緊の課題となっている. そこで、我々は ATLID 以降の次世代スペースライダーによる大気 粒子の全球観測計画について検討を進めている.

本稿では、我々が検討を進めている大気粒子計測 のための衛星搭載高スペクトル分解ライダーについ て報告すると共に、国内外で検討が進められている 大気粒子計測に関連するスペースライダーミッショ ンについて紹介する.

2. 大気粒子計測に関わるスペースライダー ミッションの動向

米国では Decadal Survey において定められた ACCP ミッションの策定が精力的に進められてい る. ACCP ミッションでは,センサーだけではな く,搭載する衛星やその軌道等も含めたアーキテク チャを多数挙げ,それらを精査・検討し選考すると いったユニークな決定行程を取っている.2022年 にアーキテクチャを決定し,2020年代末に打ち上 げることが予定されている.大気粒子計測ライダー として,偏光測定機能を有した Mie 散乱ライダー や高スペクトル分解ライダーを,波長としては 1064,532,355 nm での複数波長の利用が検討されて いる. CALIOP や CATS の実績と共に,前回の Decadal Survey (DS2007)において計画された ACE (Aerosols, Clouds, Ecosystems) ミッションで検討さ れた Mie 散乱ライダーや高スペクトル分解ライ ダー技術も ACCP における技術検討の基盤となっ ている. CALIOP の実績を基に,水平分解能 100 m,高度分解能 30 m (高度 8 km 以下),60 m (高 度 8 km 以上)が計測分解能の指標として挙げられ ている.

欧州では、日欧共同地球衛星観測ミッション EarthCAREで用いられるファブリ・ペロー干渉計 を用いた波長 355 nm での HSRL である ATLID の開 発が進められており、打ち上げ後の ATLID の運用 も欧州が担う³⁾. 先んじて 2018 年に ESA より打ち 上げられた全球風観測衛星 ADM-Aeolus に搭載され た波長 355 nm での HSRL である ALADIN では、風 および大気粒子計測のためにファブリ・ペロー干渉 計とフィゾー干渉計が用いられている. 大気粒子プ ロダクトはスピンオフプロダクトの扱いであり、波 長 355 nm での消散係数や後方散乱係数等が公開さ れている⁴⁾.

中国においても、ヨウ素吸収セルを用いた波長 532 nm での HSRL による全球衛星観測ミッション ACDL (spaceborne Aerosol and Carbon dioxide Detection Lidar) が検討されている⁵⁾. ここでは、532 nm での HSRL 計測に、波長 532 nm での 偏光および 1064 nm での Mie 散乱ライダー計測による大気粒子 計測が加えられている.更に、1572 nm でのレー ザー送信も合わせて行い、長光路差分吸収法による CO_2 の気柱濃度計測も行われる.

国内においても、HSRL 技術を用いた衛星搭載ラ イダーミッションの検討を我々は進めており、内容 については3章にて述べる.「今後の宇宙開発体制 のあり方に関するタスクフォース会合・リモートセ ンシング分科会」による地球観測グランドデザイン の構築の一環として衛星地球観測ミッション公募が 2018年より毎年実施されるようになり、次世代地 球観測ミッションの集約・精錬が進められている. 我々も上記公募への応募を行なってきた⁶⁾.また. 国際宇宙ステーションを用いた植生・バイオマス観 測ミッション MOLI⁷⁾が進行している. MOLI ミッ ションでは波長 1064 nm での Mie 散乱ライダーが 主力センサーとして用いられ、国内初となるスペー スライダーミッションとなる. 1980年代後半から 1990 年代にかけて検討された Mie 散乱ライダーに よる大気粒子衛星観測ミッション ELISE/MDS-2⁸⁾ は実現には至らなかったが、ここでのレーザー等の スペースライダーの技術検討が MOLI ミッション へと繋がっている. MOLI ミッションでは森林の樹 冠高等の植生・バイオマスプロダクトと共に、スピ ンオフプロダクトとして、 雲検出やエアロゾル消散 係数の抽出等による大気粒子プロダクトの発信が計

^{†1}https://science.nasa.gov/earth-science/decadal-surveys/ materials

解*説

画されている.

3. 雲・エアロゾル・対流・放射・降水観測 ミッション

3.1 背景·意義

NASA 主導による CALIOP および CloudSat 衛星 搭載の雲レーダーによる全球観測は、大気粒子の3 次元分布を詳らかにし,降水量や放射収支の評価の 顕著な改善を果たした.一方で、これらの観測・解 析研究から、克服すべき課題も提示された、例え ば,これら衛星観測データを用いた雲量の推定結果 には手法の違いによる顕著なばらつきが見られた. その主な要因として、雲・エアロゾル層の識別手法 の違い、ライダー信号に含まれる多重散乱成分の取 り扱いの違い、雲の相識別手法の違いが挙げられ た⁹⁾.また、雲量だけではなく、大気粒子の微物理 量の推定にも不確さが潜在する。更に、衛星観測 データの解析結果と気候変動予測モデルの結果との 間にも整合が見られず、(解析手法の改善だけでは なく)気候モデルの雲再現性や雲・降水の変換プロ セスの改善が必要であることが指摘されている¹⁰⁾.

これらの改善のためには、雲・エアロゾル・対 流・放射・降水プロセスを包括的に評価する観測シ ステムが必要となる. EarthCARE ミッションでは、 ATLIDと共に、94 GHzのドップラー雲レーダー、 多波長イメージャー,広帯域放射計が搭載され, CALIPSO・CloudSatミッションの後継となる包括 的な全球観測ミッションとなっている. 雲レーダー のドップラー計測機能の付加により、雲・降水微物 理特性と対流性雲の内部の鉛直速度の推定が可能と なり、フラックス抽出の改善が見込まれている、更 に、HSRL 技術を導入して、大気粒子の消散係数・ 後方散乱係数の推定精度が向上することによる知見 の創出や改善も期待されている.一方、EarthCARE ミッション以降の能動型センサーを用いた大気粒子 衛星観測ミッションは現在のところ白紙(未確定) となっている.

大気粒子計測スペースライダーの勃興期にはミー 散乱ライダー技術が用いられ、LITE および CALIOP により成功が修められた.その後、消散係 数および後方散乱係数の独立測定による測定値の不 確実性の低減と情報量の増加等を狙い、HSRL 技術 が導入された. CATS ではヨウ素吸収セルを用いた 波長 532 nm での HSRL 技術が用いられ、次期衛星 ライダー ATLID ではファブリ・ペロー干渉計を用 いた波長 355 nm での HSRL 技術が用いられるに至 り、HSRL 技術の利用は大気粒子計測用スペースラ イダーのスタンダードとなりつつある. そこで我々は、EarthCARE ミッションの次を見 据え、高スペクトル分解ライダーを含めた能動型セ ンサーを主体とした雲・エアロゾル・対流・放射・ 降水の包括的な全球衛星観測ミッションの検討を進 めている.

3.2 観測パラメータと能動型センサー

上記目的を果たすために、本ミッションでは以下 パラメータの全球抽出を目標としている.

・ 雲・エアロゾル・降雨・降雪の微物理・放射特性 ・ 雲・降水粒子の落下速度

・雲内での鉛直流

・晴天域での鉛直流(雲頂より上方の場も含める)

これらパラメータを抽出するために,以下の特性 を持った雲レーダーとライダーを想定し,実現に向 けた技術開発を進めている.

<u>雲レーダー</u>

ドップラー計測機能を有した 94 GHz 雲レーダー とする.レーダ反射因子,ドップラー速度,ドップ ラー速度幅を計測する.鉛直下での計測を最小構成 とするが、3 方向計測による水平風抽出も視野にい れた検討を行う.

ライダー

2波長(532,1064 nm)で鉛直下方を計測するラ イダーとする.波長 532 nm では HSRL 計測を行 い、2波長での偏光測定も行う.また、直接検波方 式のドップラー計測機能を加え、風速の同時計測を 実現する.新たな試みとして、狭視野角と広視野角 の多視野角計測を実現し、多重散乱信号を活用した 光学的に厚い雲の内部の計測を行う.本ライダーの 高機能化としては、波長 355 nm での HSRL 機能の 追加やドップラー計測の3方向化が想定され、その 技術検討も進める.

3.3 ライダー要素技術の開発

科研費助成のもと、EarthCARE そして ADM-Aeolus 衛星の観測条件を模擬する最先端の能動型セン サーによる地上複合観測システムの構築を進めてい る¹¹⁾. また、この地上観測システムの観測データ を用いて、EarthCARE、ADM-Aeolus 衛星データか ら大気粒子の微物理特性と雲内鉛直流を導出するた めの推定手法の開発を行なっている. この開発した 推定手法を用いて上記衛星による全球データを解析 し、雲対流および雲・降水粒子落下速度のパラメタ リゼーションの検証・改良等を行い、雲の気候変動 研究へ貢献することを、我々は目指している.

上記課題では波長 355 nm での偏光 HSRL (Fig. 1) と共に,多視野角・多重散乱偏光ライダー¹²⁾



衛星搭載高スペクトル分解ライダーによるエアロゾル・雲の全球観測(西澤 智明)



Fig. 1 Polarization HSRL at 355 nm (left) and Multiple-field-ofview multiple-scattering polarization lidar at 355 nm (Right) constructed at National Institute of Comunication and Technology in Koganei, Tokyo.

(Fig. 1) そして直接検波方式ドップラーライダー⁽³⁾ の開発も行い,情報通信研究機構(東京都小金井 市)構内にてこれらを設置・運用する.そして,同 研究所のドップラー雲レーダーを組み合わせ,ライ ダー・雲レーダーによる地上複合観測システムを実 現する.そこで我々は,上記課題で開発したライ ダー技術を基に大気粒子計測スペースライダーの検 討を進めている.

以下,この検討でキーとなる HSRL に焦点を 絞って述べる.走査型マイケルソン干渉計を用いた 波長 355 nm での HSRL システムを開発し,連続観 測を実施している¹⁴⁾.本システムは波長 532 nm で の HSRL への転用も可能である.更に,2 波長 (355,532 nm)での同時計測の実現可能性も有して おり,2 波長同時計測 HSRL の開発も進めている. Figure 2 に情報通信研究機構構内にて 2019 年 10 月 2 日に 355 nm 偏光 HSRL で測定された後方散乱係 数,消散係数, ライダー比, 偏光解消度の時間高度



Fig. 2 Observation results by 355 nm polarization HSRL on 2 October, 2019.

断面図を示す.時間と高度の分解能はそれぞれ5分 と30mである.ATLIDやALADINに相当するパラ メータを測定しており,地上検証用ライダーとして も有用である.同時計測したラマンライダーともよ く整合し,本システムの妥当性が実証されている.

本ライダーでは、干渉計は1フリンジ分だけ周期 的に掃引し、スキャン毎に干渉縞の位相をモニター するため、従来の HSRL 手法でネックとなる波長 制御が不要となることが特徴の一つとなっている. 一方で常時スキャンするために測定効率は悪くなる が、エアロゾル消散係数の連続測定は十分に可能で ある.衛星観測では衛星の高速移動により、計測地 点の大気状態が1フリンジのスキャン計測時に大き く異なってしまうことが想定されるため、本システ ムのそのままの適用は好ましくない.よって、ス キャン方式の改良、レーザーや干渉計の波長制御、 ないしはショット毎にフリンジの位相を検出するシ ステム¹⁵⁾等の検討を今後進めていく.

上記システムを応用した衛星搭載 HSRL の検討 として,上記システムの受信系の諸元を元に,現行 の衛星搭載ライダーで用いられているレーザー出力 や望遠鏡の諸元を用いて (Table 1),期待される波 長 532 nm での測定信号とそこから推定される消散 係数および後方散乱係数の推定誤差のシミュレー ションを行った.シミュレーションで用いた大気粒 子の光学特性や高度分布を Table 2 にまとめる.

Figure 3 にシミュレーション結果を示す. 大気分 子からの後方散乱を主に計測する Rayleigh チャン ネルによる測定信号では,昼夜共に高度 15 km 程 度まで SN で 10 を超える測定精度が期待できるこ とが判明した.また,大気粒子からの後方散乱を主 に計測する Mie チャンネルによる測定信号も,エ アロゾル層 (0-2 km, 3-5 km) や雲層で昼夜共に SN で 20 を超える測定精度となっている(但し,雲 層以下では雲による大きな減衰により SN は悪くな る). これらの信号から抽出される大気粒子の消散

Table 1 Calculation condition used in the simulation analysis for the space-borne HSRL at 532 nm.

Item	Conditions	
Satellite altitude	400 km	
Laser energy	50 mJ	
Repetition rate	50 Hz	
Telescope diameter	0.6 m	
Field-of-view	65 μrad	
Vertical resolution	300 m	
Horizontal resolution	10 km (70 shots)	
Quantum efficiency	0.5	
Band pass filter	0.2 nm (FWHM)	
Background noise	$74 \text{ Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}\text{sr}^{-1}$	



Particle	β	S	Range	δ
type	$[m^{-1}sr^{-1}]$	[sr]	[km]	
Aerosol				
Back-	$2.5 \times 10^{-6} \times \exp(-z/2)$	50	2-35	0.0
ground				
Dust	$2.6 \times 10^{-6} \times$	50	3-5	0.3
	$\exp(-(z-4)^2/1.5^2)$			
Urban	$4.0 \times 10^{-6} \times \exp(-z/8)$	50	0-2	0.0
Cloud				
Cirrus	3.0×10 ⁻⁵ ×	20	9-11	0.4
	$\exp(-(z-10)^2/1.5^2)$]

 Table 2
 Optical properties of aerosols and clouds at 532 nm used in the simulation analysis^a.

^az is altitude. β is backscatter coefficient. S is lidar ratio. δ is depolarization ratio.



Fig. 3 Simulation of the space-borne 532 nm HSRL measurements. Signals detected by Mie channle (Black) or Rayleigh channel (Green) during day (dotted line) or night (solid line) and their uncertainties are plotted. The extinction and backscatter coefficients derived from the signals and their retrieval uncertaines are also plotted.

係数の推定誤差は,晴天下でのエアロゾル層に対し ては 30-50% 程度,雲層に対しても減衰の低い上層 部に対しては 30% 以下と算出された.後方散乱係 数に対してはエアロゾル・雲そして昼夜共に 10% 以下となっている.上記シミュレーション結果は, 装置設定が未確定な部分も多く,雲等の多重散乱効 果を含んでいないなど簡易なものではあるが,装置 および解析手法の改良による測定・推定精度の向上 を含め,現在開発を進めている HSRL 技術の大気 粒子計測スペースライダーへの応用に十分に期待の もてる結果と考えられる.

3.4 解析手法の開発

衛星ミッションにおいては、計測と共に計測デー

タを用いた大気粒子等の巨視的特性および微物理特 性の推定も等しく重要であり, データ解析手法につ いての開発・検討も同時に進めている. CALIOP お よび CloudSat レーダーを用いた雲の検出・タイプ 識別・微物理特性¹⁶⁾や, HSRL やラマンライダーを 用いたエアロゾル微物理特性17)の推定手法の開発 を行ってきた. これらの解析手法を応用し、Earth-CARE ミッションにおけるライダー・雲レーダーを 用いた雲・エアロゾル解析手法の開発を JAXA 助成 の下で進めている^{18,19)}. また. 解析手法の高度化 として, ライダーの多重散乱信号を含めた高速フォ ワード計算手法の開発も進めている²⁰⁾.これらの 手法を応用・発展することで本ミッションで用いる 解析手法へと昇華する.また.これにより CALIPSO/CloudSat, EarthCARE, そして本研究で提 案する次世代衛星ミッション間のセンサの違いを包 含したシームレスな3次元雲・エアロゾル・降水の 長期プロダクトの創生を果たすことも本研究の大き な目標の一つである.

4. おわりに

本稿では、本研究で検討を進めているライダー・ 雲レーダーを主力とした雲・エアロゾル・放射・対 流・降水の包括的な衛星観測ミッションの概要と、 その衛星ミッションで用いられる HSRL の開発・ 検討状況について報告すると共に、大気粒子計測に 関わるスペースライダーミッションの国内外での動 向についても合わせて紹介した.各国で近年実施そ して検討されている大気粒子計測スペースライダー は、CALIOPの成功に伴い、Mie 散乱ライダーから HSRL へとその軸足が移り、高度化されてきてい る.日本国ではスペースライダーの技術的知見・経 験を有するものの限定的であり、スペースライダー の実績はまだ無い、ライダー技術の成熟度を高める と共に、スペースライダーミッションの具体化へ向 けたより一層の尽力が必要とされている.

謝 辞

本研究は, 科研費基盤研究 S (JP17H06139) およ び JAXA 受託研究 (EarthCARE RA) の支援を受け て進められている.

参考文献

- 1) IPCC fifth assessment report, 1535pp, 2013.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine 2018. Thriving on Our Changing Planet: A Decadal Strategy for Earth Observation from Space. Washington, DC: The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/24938.
- 3) Illingworth A. J., Barker H. W., Beljaars A., Ceccaldi M.,



衛星搭載高スペクトル分解ライダーによるエアロゾル・雲の全球観測(西澤 智明)

Chepfer H., Cler-baux N., et al., The EarthCARE satellite: the next step forward in global measurements of clouds, aerosols, precipitation, and radiation, Bull. Am. Meteor. Soc., 96, 1311–32, 2015.

- 4) Atmospheric Dynamics Mission, ESA publication SP-1233 (4), 1999.
- 5) Chen W., Liu J., Hou X., Zang H., Ma X., Wan Y., Li R., and Zhu X., Developing status of spaceborne lidar for aerosol and CO₂ measurement in SIOM, Proceeding of ILRC29, S1-23, 2019.
- 6) 岡本 創, 鈴木健太郎, 西澤智明, 石井昌憲, 富田英一, ドップラー雲レーダと多視野角、高スペクトル分解、偏 光ドップラーライダによる雲、エアロゾル、鉛直流観測 ミッション, MSD47-09, JpGU-AGU Joint Meeting 2020, 2020.
- (浅井和弘,平田泰雅, 鷹尾 元,本多嘉明,梶原康司, 栗屋善雄,他,植生ライダー (MOLI), MSD47-10, JpGU-AGU Joint Meeting 2020, 2020.
- 8) 今井 正,辰巳賢二,川村恭明,実証衛星搭載用ライ ダーの開発,第19回レーザセンシングシンポジウム, 55-56,1998.
- 9) Cesana G., Chepfer H., Winker D., Getzewich B., Cai X., Jourdan O., Mioche G., Okamoto H., Hagihara Y., Noel V., and Reverdy M., Using in situ airborne measurements to evaluate three cloud phase products derived from CALIPSO, J. Geophys. Res., 121, 5788–5808, 2016.
- Jing X., Suzuki K., and Michibata T., The key role of warm rain parameterization in determining the aerosol indirect effect in a global climate model, J. Climate, 32, 4409–4430, 2019.
- 11) Okamoto H., Sato K., Fujikawa M., Oikawa E., Nishizawa T., Ishii S., Jin Y., Aoki M., and Sugimoto N., Development of synergetic active sensor system for evaluation of observations by EARTHCARE, EPJ Web Conferences 237, 07011, 2020.
- 12) Nishizawa T., Jin Y., Sugimoto N., Okamoto H., Fujikawa M., and Ishii S., Development of a multiple-field-of-view multiple-scattering polarization lidar system at 355 nm for cloud measurements, EPJ Web Conferences 237, 07009, 2020.
- 13) 富永寛菜,石井昌憲,青木 誠,柴田泰邦,西澤智明, 神 慶孝,岡本 創,鉛直風計測のためのインコヒーレン トドップラー用エタロンの特性評価,第37回レーザー センシングシンポジウム,65-66,2019.
- 14) Jin Y., Nishizawa T., Sugimoto N., Ishii S., Aoki M., Sato K., and Okamoto H., Development of a 355 nm high-spectral resolution lidar using a scanning Michelson interferometer for aerosol profile measurement, Opt. Express, 28, 23209–23222,

2020.

- 15) Tucker S. C., and Weimer C. S., The optical autocovariance wind lidar. Part I: OAWL instrument development and demonstration, J. Atmos. Ocenan. Tech., 35, 2079–2097, 2018.
- 16) Okamoto H., Sato K., and Hagihara Y., Global analysis of ice microphysics from CloudSat and CALIPSO: Incorporation of specular reflection in lidar signals, J. Geophys. Res., 115, D22209, 2010.
- 17) Nishizawa T., N. Sugimoto, I. Matsui, A. Shimizu, Y. Hara, I. Uno, K. Yasunaga, R. Kudo, S.-W. Kim, Ground-based network observation using Mie-Raman lidars and multi-wavelength Raman lidars and algorithm to retrieve distributions of aerosol components, Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 2017; 188, 79–93.
- 岡本 創, 佐藤可織, CloudSat/CALIPSO/EarthCARE 衛 星による雲物理特性解析, 日本リモートセンシング学会 誌, 39, 197-206, 2019.
- 19) 西澤智明, 工藤 玲, 日暮明子, 及川栄治, 岡本 創, EarthCARE 衛星搭載ライダーデータを用いたエアロゾル・雲推定アルゴリズム, 日本リモートセンシング学会誌, 39,215-224,2019.
- Sato K., Okamoto H., and Ishimoto H., Modeling the depolarization of space-borne lidar signals, Opt. Express, 27, A117-A132, 2019.



明 2004年に東北大学大学院理学研究科 博士課程を修了し,理学博士の学位 を取得.その後,日本学術振興会 PD (気象庁気象研究所)を経て,2007 年より NIES 特別研究員として国立 環境研究所に勤務し,2011年に同研 究所の主任研究員となる.現在は, 国立環境研究所環境計測研究セン

ター室長および九州大学客員教授.地上ネットワーク ライダーや衛星・船舶搭載ライダーの観測データを用 いたエアロゾル・雲の光学・微物理特性の解析研究や, 高スペクトル分解ライダー等のライダーシステムの開 発に従事している.現在は、日欧共同地球観測衛星 ミッション EarthCARE のサインエンスチームにも参加 し、同衛星搭載ライダー等を用いたエアロゾル・雲推 定アルゴリズムの開発チームの PI を務めている.日本 気象学会会員、日本地球惑星科学連合(JPGU)会員.